

# 发光在工业和国防上的应用

刘 行 仁

(中国科学院长春物理研究所)

本文综述了固体发光在照明光源、终端显示、彩色显象、辐射场探测、X射线增感屏、辐射成象和转换等领域中的应用,以及其他方面的应用前景。

当你在家中收看图象清晰,色彩逼真的彩色电视时,无不感到舒畅。当你穿着华丽的衣裙在高显色性荧光灯下翩翩起舞,你将获得一片赞美声,然而在高压荧光汞灯下却会获得完全相反的、难堪的效果。今天,发光学及其材料和器件在国民经济和国防建设中得到广泛应用,显得越来越重要。

19世纪末20世纪初,发光现象的研究导致了物理学的两个重大发现,即X射线和天然放射线的发现。前者促进材料科学研究革命性变化,后者为原子能时代的开始奠定了基础。量子理论、群论和半导体理论的发展又促进了发光物理的发展。本世纪中期,超纯材料,特别是高纯稀土元素分离技术及计算机微电子学的发展,大大地推动了固体发光材料科学和器件的发展。

今天,固体发光已广泛应用于光源、显示显象、辐射场探测和X射线增感屏等不同领域中。

## 一、光 源

### 1. 荧光灯

在过去的50年内,荧光灯经历了几个重要发展阶段。它的光效、显色性和光通维持率得到很大提高。这些都与荧光粉的发展分不开。自从70年代出现能源危机以来,照明节能引起了各国重视,新一代节能灯——紧凑型 and 细直管形荧光灯正在争相发展着,以期取代光效低的白炽灯,节约能源。

理论上研究表明,选用三种特定可见光窄

波段,有可能同时得到高光效和高显色指数。70年代中期高效红、蓝、绿三基色稀土荧光粉的研制成功,把理论变成实际,同时为紧凑型及细直管形节能灯在80年代飞速发展奠定了基础。所用的红色荧光粉是 $\text{Eu}^{3+}$ 激活的 $\text{Y}_2\text{O}_3$ ;而 $\text{Eu}^{2+}$ 激活的碱土金属多铝酸盐是蓝色荧光粉;高效绿色发光材料有几种,它们都是以 $\text{Ce}^{3+}$ 为敏化剂, $\text{Tb}^{3+}$ 为激活剂<sup>[1]</sup>。它们的产生是以高纯稀土工业发展为基础,而以无辐射能量传递为理论依据的。荧光灯的光通维持率是很重要的性能。图1对比用卤磷酸钙和新的稀土三基色

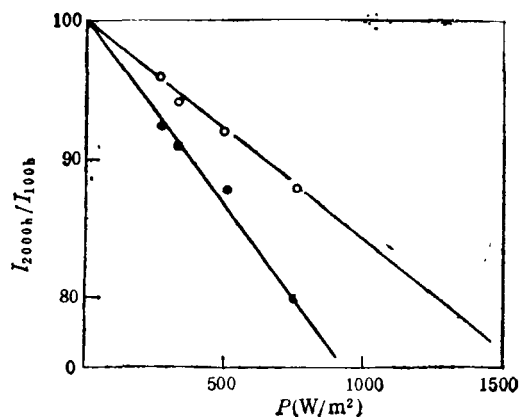


图1 灯的光通维持率与灯管壁负荷功率的关系  
○——稀土三基色荧光粉；●——卤磷酸钙荧光粉

荧光粉制作的荧光灯的光通维持率性能(工作2000小时与工作100小时光通之比)与灯壁负荷功率的关系。很明显,稀土三基色荧光粉的性能较好。表1列出用几种不同荧光粉制作的荧光灯的流明效率和显色指数。这充分说明,采

用稀土荧光粉后,灯的性能大为改善。尽管目前稀土三基色荧光粉的价格比较贵,但是从节能和照明效果看,它们依然受到重视。我国有丰富的稀土资源,这为开发光源用的发光材料提供了很好的条件。

表1 几种荧光灯的流明效率和显色指数 ( $R_a$ )

荧光粉和灯	管径 (mm)	功率 (W)	$R_a$	流明效率 (lm/W)
卤粉 (TL/33 型灯)	38	40	67	80
磷酸盐荧光粉(高显色灯)	38	40	85	50
稀土三基色荧光粉	38	40	85	80
稀土三基色荧光粉 (TLD/84 型灯)	26	36	85	96

7W, 9W和 11W 的H型节能灯的光通量分别相当于 40W, 60W和 75W的白炽灯。一支 40W 普通荧光灯,如果改为功率为 36W的细直管荧光灯后,功耗降低 10%,而性能比原来还好。以年产 5000 万支 40W 荧光灯计算,可节电 2 亿瓦。

### 2. 高压荧光汞灯<sup>[2]</sup>

由于汞蒸气压力升高,共振辐射产生自吸收谱线增宽,辐射有更多部分向长波移动,在可见光区有很强的辐射。利用这种原理制成的高压荧光汞灯,缺少红色成分,且显色性很差,引起大多数有色物质出现颜色畸变。三价钨离子的 4f 内壳层电子的  $^5D_0-^7F_2$  能级跃迁,发射强的橙红光。高压汞灯加入钨(磷)酸钨钨荧光粉后,显色性得到改善,光效亦能提高。这种稀土红粉已代替过去的氟钨酸钨钨和钨酸钨钨红粉。这种材料的温度猝灭特性好,但对高压荧光汞灯中能量最强的 365nm 汞线的吸收(激发)依然不是很理想的。

目前,高压荧光汞灯主要用于街道、马路、大厂房、场地等的照明。

### 3. 紫外灯(黑光灯)

这是利用低压汞灯中短波紫外辐射激发荧光粉,产生另一种长波紫外线的原理制成的灯。所用的荧光粉的品种甚多<sup>[2]</sup>,但多数是  $Tl^+$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Eu^{2+}$  等分别激活的磷酸盐、硅酸盐、硼酸盐。在波长为 254nm 的射线激发下,发射峰有

的是 300nm 紫外线,有的是 420nm 蓝紫光,更多的是在这两者之间。这种灯可用于杀菌、保健理疗、诱捕害虫(如棉铃虫)和光化学、重氮复印等方面。

## 二、显 示

当今人类已进入信息时代。各种功能的终端显示器随着微机发展和信息社会化已进入社会的各个角落。各种方案的显示器相继发展,其共同的要求是高亮度、高分辨率、高对比度、高信息量以及抗闪烁和彩色化。

### 1. 电子束管 (CRT) 显示器

目前在显示器件应用领域中占主导地位的还是电子束管。这类器件和荧光粉的产值和经济效益远高于其它显示器件和荧光粉。为了适应这方面发展,美国电气工业协会对电子束显示显象管用的各种荧光粉最近重新进行了编排和命名<sup>[3]</sup>。

$Tb^{3+}$  或  $Pr^{3+}$  激活的稀土硫氧化物的阴极射线发光光谱的绝大部分能量,分别集中在 535—555nm 和 500—520nm 绿色窄光谱区。如果配上绿色滤光片,则特别适用于高对比度、亮环境光下的 CRT 终端显示器中。为了提高分辨率,必须增加扫描线数。为此,一种方法是降低帧频,但其后果是出现闪烁现象,显示不清,眼睛易疲劳。为了适应这方面的需要,可在终端显示器中采用具有较低的临界停闪频率新发光粉以及琥珀色和白色荧光粉。

利用加速电压的变化,使电子束在荧光粉上穿透不同的深度,从而产生不同的发光颜色和余辉的原理,发展了一类穿透型多色 CRT 显示器,图 2 为其结构示意图。例如,在屏面上用橙黄色显示原始的雷达信息,而用绿色文字、数字和符号显示综合信息,清楚方便,避免混乱。不同的余辉和发光颜色可以在同一画面上显示敌我飞机或导弹运行状态等。这种显示器识别可靠,已被广泛用于空中交通控制、飞行模拟器、航空雷达、飞行方式(和方向)指示器。

### 2. 低压荧光显示器

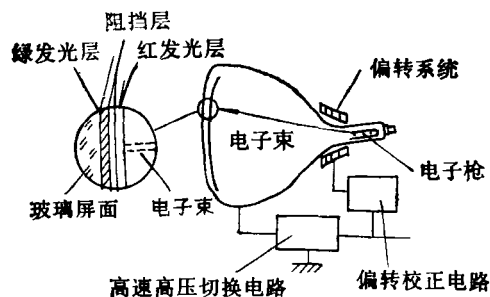


图2 电压穿透式彩色 CRT

这种显示器是利用在真空中，加速电压只有几十或几百伏的电子激发荧光粉发光制作成的荧光数码管。由于电子能量低，穿透荧光粉的深度小，故数码管的工作电压低，驱动功率小，但亮度高，寿命长和可靠性高。由数码管和驱动电路组成矩阵式字符或模拟显示器，可用作电子秤，台式电子计算器和数字仪表等。

### 3. 电致发光显示器

这是将电能直接转换为光能的器件，包括交流，直流粉末发光屏，薄膜发光屏和塑料发光屏，其屏幕薄而平板化，功耗低，视角大，可用于特殊照明和字符显示技术中，如飞机上的仪表面板上的照明、模拟显示屏等。还可配合微机，制成平板终端显示器。显示屏可大可小，大的拼到几十平方米，如人民大会堂用的“会务信息处理终端显示屏”。

### 4. 发光二极管 (LED) 显示屏

这类器件是电子注入式半导体发光管，主要由 III-V 族和 II-VI 族半导体材料构成。目前除蓝色发光二极管外，其它颜色的产品都已商品化，广泛用于字符和模拟显示技术中，如计算器、数字化钟表、公路上各种向导信息板、候车室指示板及广告牌等。目前人们依然希望提高 LED 的发光效率，尽快使蓝色发光器件商品化。

利用不同发光原理，设计和发展的各种显示器件，已广泛地应用于国民经济，并在国防现代化中起着重要作用。如各种军事指挥显示器，雷达指示器，座舱终端显示器，红外夜视仪以及坦克中必不可少的微光夜视仪等。目前正大力

发展第三代微光器件。

## 三、彩色电视

从 80 年代开始，彩色电视向大型和小型化发展。大到如日本筑波国际博览会上展出的 1000 平方米及 1987 年广州全国运动会上使用的室外巨型彩色电视；小至可随身携带或装在汽车上的 4.5 英寸彩色电视机。

当今彩电荧光屏上的亮度高，色彩如此丰富和逼真是与稀土红色荧光粉的发展分不开的。人们在研究三价铕离子的发光物理特性时，发现其它稀土杂质对铕的红光产生严重的猝灭效应。60 年代，高纯稀土的分离与提纯工业发展，三种彩电用的稀土红色荧光粉相继问世，使彩电图象质量发生质的变化。综合多种因素，目前显象管中普遍使用的是硫氧化钪铕红色荧光粉。为了提高对比度，红粉表面涂有铁红颜料，它与表面涂钴蓝颜料的硫化锌银蓝色荧光粉以及硫化锌铜金铝或硫化锌镉铜铝绿色荧光粉组成三基色彩电荧光粉。

从 80 年代开始，室外巨型彩色显示显象装置发展迅速，其屏幕尺寸小的达  $8 \times 6\text{m}^2$ （如北京火车站旁的装置），大的达  $25 \times 40\text{m}^2$ 。它们是由许多相同的高亮度的红、蓝、绿三色小型电子管（泛束管）交叉排列组成。每一个泛束管就是一个象元素。接收来的信号通过电脑驱动，调节管子的发光和亮度，从而实现实时的彩色显示显象，乃至在阳光下显示鲜明的彩色图象。若配上计算机等辅助设备，则不仅可接受电视节目，还可存取运动记录，重演和慢放运动会的精彩场面。1990 年在北京亚运会上将安装这种装置。

CRT 彩色投影电视，是利用光学原理将红蓝绿三种 CRT 上的电视图象投影和成象在约  $1\text{m}^2$  的特制的银幕上，可以让更多的人观看。其图象大而逼真。这种投影电视用于大的娱乐场所、教室等。为了获得高亮度，投影管中的三基色荧光粉承受很大的束电流密度和更高的加速电压的电子束的轰击，外屏面温度可高达

100℃, 从而引起严重的温度猝灭效应和亮度-电流饱和效应。因此, 所使用的荧光粉与普通彩电荧光粉完全不同。这些年来, 人们把研究的重点放在研制效率更高、抗温度猝灭性能更好的绿色和蓝色荧光粉上。

#### 四、辐射场的探测和记录

探测和记录看不见的放射线, 不仅对原子核科学技术的发展极为重要, 而且也关系到生命的安全。发光在这方面作出了重大贡献, 主要是闪烁探测器及发光剂量计。

##### 1. 闪烁探测器

闪烁探测器是将射线的信息转变为光信息, 然后再转换为电信息的一种射线探测器。其核心是发光的闪烁晶体。简单地说, 当带电粒子,  $\gamma$  射线或中子通过闪烁体时, 由这些带电粒子, 或产生的二次电子, 或反冲核使闪烁体原子和分子等激发而引起发光。闪烁体有无机和有机两大类。

1919年卢瑟福利用最简单的闪烁器完成了稳定同位素的人工蜕变实验。杨振宁和李政道的弱相互作用宇称不守恒定律的实验证明是吴健雄在1957年用掺铊碘化钠及蒽闪烁晶体完成的。穆斯堡尔效应也是在1958年用 NaI: Tl 闪烁探测器发现的。80年代, 中国科学院上海硅酸盐研究所研制和生产的锗酸铋(BGO)闪烁晶体大量出口。现在正被诺贝尔奖金物理学奖获得者丁肇中在欧洲联合核子研究中心使用。闪烁探测器广泛用于核工业、医学、地质勘探、地震预报、冶金化工和宇航等方面。

##### 2. 发光剂量计

所谓剂量是指物体(包括人)在一定时间内累积的放射性辐射的能量。当原子弹或氢弹爆炸时, 要对不同范围环境进行辐射剂量的测量, 工作人员须佩带个人剂量计, 以防止和限制放射线的伤害。利用辐射与发光材料相互作用时的物理现象——辐射光致发光和热释发光制作的发光剂量计, 是一种简便、灵敏、可靠的仪表。通过光致发光强度的变化来反应辐射剂

的仪表叫做荧光剂量计; 而利用测量热释发光的强度来反应辐射剂量的仪表称热释发光剂量计。后者发展更快, 这是因为它检测剂量范围大、精度高、重复性好。一般热释发光剂量计是探测带电粒子引起的剂量。探测中子剂量——热释发光中子剂量计及探测紫外线剂量——热释发光紫外线剂量计也受到重视。热释发光(TL)是一种很普遍的现象, 应用范围很广<sup>[4]</sup>, 如用于个人剂量计、环境监测、医学生物学、地质及断定年代的考古学。

#### 五、X射线增感屏和成象技术

当病人进行X光透视和作CT检查时, 总希望快点透视完以减少所受有害辐射剂量, 同时又希望X光胶片很清晰。

##### 1. X射线增感屏

通常病人看到的是经增感屏增感后的已曝光的X光底片, 否则底片不会这么清晰, 而且透视时间长。目前X射线增感屏所用的荧光粉有稀土硫酸钡、氟氯化钡、卤氧化钡及稀土钨酸盐和旧的钨酸钙等<sup>[5]</sup>。稀土 Y, La, Gd, 和 Lu 的4f壳层分别是全空、半满和全满, 它们的K吸收限恰好都在医用X射线的能量范围内, 所以对X射线有较高吸收, 性能超过钨酸钙。

##### 2. 光释发光成象技术

当晶体受到电离辐射辐照时, 可以产生大量的电子和空穴, 被俘获在陷阱中, 从而把辐射能存贮起来。当受到一定波长的可见光或红外光激励时, 发生复合发光, 以特征的荧光形式释放出来。具有这种性能的晶体的光释发光(PSL)强度在相同X射线剂量下是常规的X射线发光强度的几十倍。

用多晶发光材料做薄膜屏作为X射线影象的成象屏, 能暂时地存贮辐射影象的潜像。国外利用这种PSL成象屏新技术, 加上计算机辅助设备, 组成了X射线照象检查系统。它能大大地减少剂量并提高影像质量, 使X射线医学诊断技术有了新的发展。

发光学曾是一门“老”物理学, 它和激光有  
(下转第582页)